



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Om sikkerheden af højhusene i Rødovre

Munch-Andersen, Jørgen; Nielsen, Jørgen; Aagaard, Niels-Jørgen

Publication date:
2007

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Munch-Andersen, J., Nielsen, J., & Aagaard, N-J. (2007). *Om sikkerheden af højhusene i Rødovre*. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Om sikkerheden af højhuse i Rødovre

Jørgen Munch-Andersen, Jørgen Nielsen & Niels-Jørgen Aagaard,
SBI, 21. jan. 2007

Afdelingen for Byggeteknik og
Design

Jørgen Munch-Andersen

Jørgen Nielsen

Niels-Jørgen Aagaard

11. jan. 2007, rev. 21. jan. 2007

Journal nr. 721-072

Indledning

Dette notat omhandler sikkerheden under vindpåvirkning af 2 højhuse i Rødovre; AAB afdeling 43's 2 boligblokke på Ruskær 37 og Agerkær 7.

Analysen berører alene den overordnede sikkerhed af hovedkonstruktionerne mod kollaps eller væltning. Sikkerheden af sekundære konstruktioner er således ikke behandlet. Bygningernes fundering er ikke vurderet. Det forudsættes, at det opførte hus hvad angår hovedkonstruktionen i det store og hele er udført svarende til hvad projektmaterialet viser.

Baggrund

Husene er på henholdsvis 12 og 14 etager, og er opført i 1954 og 1956 på basis af projektering gennemført i 1953-1954. Arkitekt var m.a.a. Gunnar Milthers, og ingeniør var P.E. Malmstrøm, Rådgivende ingeniører, v. civilingeniør Poul R. Andersen.

Husene er opført som nogle af de første betonejshuse i Danmark i en periode med en årlig opførelse af 40-50.000 boliger/år. Perioden var præget af en gryende industrialisering af byggeriet og udvikling af nye byggemetoder.



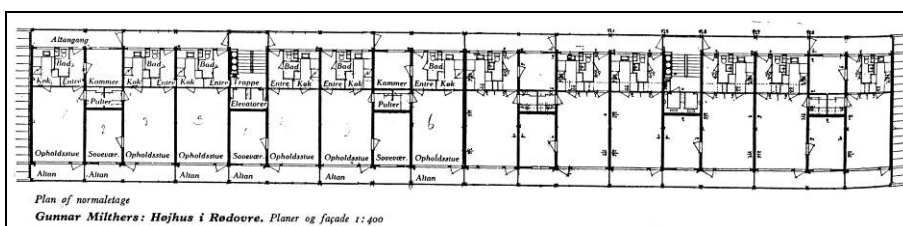
Figur 1. Højhusene Ruskær 37 og Agerkær 7, Rødovre, fra vest.



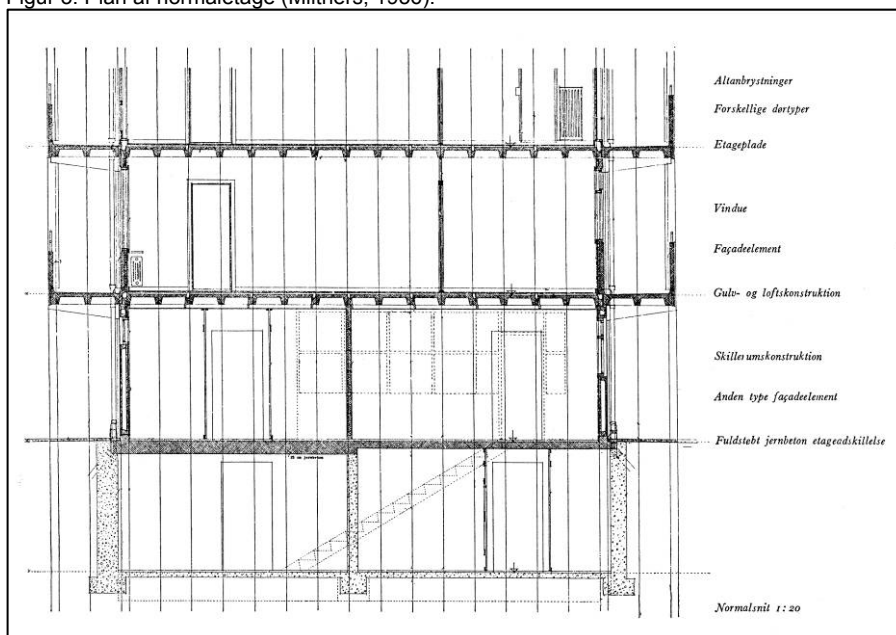
Figur 2. Højhuset Ruskær 37, østfacade.

Husenes hovedkonstruktion er bærende tværvægge af 20 cm beton in-situ støbt, armeret i de nederste etager og uarmeret i øvrige etager. Dæk er pladsstøbte elementer. Langsgående indvendige betonavægge sørger for langsgående stabilitet. Facader, altaner og altangange med tilhørende konsoller er sekundære konstruktioner. Mere om husenes baggrund og tekniske forhold; se f.eks. (Milthers, 1956).

Husene blev facaderenoveret og efterisoleret i starten af 1980'erne.



Figur 3. Plan af normaletage (Milthers, 1956).



Figur 4. Tværsnit af nederste etager (Milthers, 1956).

Det er oplyst, at husenes udvendige betonkonstruktioner har et aktuelt renoveringsbehov. Med henvisning til blandt andet for ringe betonstyrke ved ekstrem vind er husene planlagt nedrevet – en alternativ forstærkning af hovedkonstruktionerne er overvejet.

Der er udarbejdet en evakueringsplan ved ekstrem vind som, frem til den påtænkte nedrivning, skal sikre beboernes sikkerhed. Beboerne blev evakueret den 1. januar 2007 på basis af varslet ekstrem vind.

Efter evakueringen i Rødovre er sikkerheden ved Danmarks højhuse fra 1950'erne generelt blevet betvivlet i pressen med henvisning til forholdene i højhusene i Rødovre. SBI har derfor gennemgået grundlaget for evakueringsplanen med henblik på at bedømme risikoen for svigt i højhuse fra 1950'erne, og herunder i givet fald, hvad man skulle undersøge for. Derfor har SBI startet med at undersøge, hvorfor højhusene i Rødovre skulle være i risiko for at bryde sammen under stærk storm.

Dette notat sammenfatter disse undersøgelser (Munch-Andersen & Nielsen, 2007) og (Nielsen & Munch-Andersen, 2007), som er baseret på umiddelbart foreliggende materiale. Der er ikke gennemført tilstandsvurderinger af højhusene.

Sammenfatning

Med baggrund i analyserne beskrevet nedenfor kan man sige følgende om sikkerheden af hovedkonstruktionerne:

- Revurdering af resultater fra tidligere prøvning af betonen i de primære konstruktioner viser, at betonen kan antages at have den styrke, der er forudsat i projektet
- Regler gældende i 1950'erne vedrørende beregning af last og styrke førte til højhusbyggerier med en sikkerhed, som er 10-15 % større end byggeri opført efter nutidens regler, forstået på den måde at der er en bæreevne-reserve af denne størrelse.
- Selvom bygningerne er forholdsvis smalle, er de så tunge, at selv ikke den værst tænkelige storm vil kunne vælte bygningerne som et hele.

- Bygningens hovedkonstruktioner er placeret inde i huset og beskyttet mod nedbrydning af vejrliget. Betonkvaliteten er derfor ikke reduceret med alderen på samme måde som i facader og altangange.

Side 3 af 7

Der er således ikke årsag til, på baggrund af betonprøvning, normer og projektmateriale, at drage hovedkonstruktionens sikkerhed i tvivl. Der er derfor heller ikke grundlag for at opretholde særlige evakueringsplaner.

Betonstyrke

Betonstyrke på basis af prøver

I de hårdest påvirkede vægge er der i projektet forudsat en middeltrykstyrke $\sigma_T = 270 \text{ kg/cm}^2 = 26,5 \text{ MPa}$ bestemt med datidens prøvningsmetode (terningstyrke). Omregnet fra terningstyrker til nutidens cylinderstyrker svarer det til $f_c = 0,8 \times 26,5 = 21,2 \text{ MPa}$.

Der er i 2000 udtaget 6 prøver i form af udborede cylindre fra steder i bygningerne, hvor den høje betonstyrke er foreskrevet. Teknologisk Institut har bestemt trykstyrken og korrigeret resultaterne efter sædvanlige procedurer for sådanne prøver (Nielsen, J. & Munch-Andersen, J., 2007), og fundet følgende værdier som udtryk for standardcylinderstyrken f_c :

Prøve nr.	1	2	3	4	5	6
Cylinderstyrke f_c [MPa]	25,1	16,9	14,6	20,1	25,3	18,5

Figur 5. Cylinderstyrker af 6 borekerner. Fra (Nielsen, K., udateret).

Prøverne 1 og 2 stammer fra bygningen Ruskær 37, medens prøverne 3-6 stammer fra bygningen Agerkær 7. Værdierne er så ens, at de kan vurderes samlet. Middelværdien er 20,1 MPa og spredningen 4,36 MPa, hvilket giver en variationskoefficient på 22%.

Det ses, at middelværdien af prøvningsresultaterne ligger meget tæt på den krævede værdi i projektmaterialet. Under hensyntagen til variationskoefficienten og det meget lille antal prøver er der derfor intet, der tyder på at betonkvaliteten ikke skulle svare til den foreskrevne. Dette står i modsætning til en tidligere fremført vurdering af styrkeværdier (Nielsen, K., 2001).

Andre forhold ved styrkebestemmelse

Almindeligvis anvendes en betonstyrke bestemt 28 dage efter støbning som grundlag for dimensionering af betonkonstruktioner. Styrken vil normalt øges lidt derefter som følge af øget modenhed, således at styrken ved opførelsen har været lidt lavere. Det ændrer ikke ved, at betonen i dag kan antages, at have den fornødne styrke.

Vurdering efter gamle og nye normer

Hovedreglen er, at bygninger anses for at være sikre, når de overholder de krav der var gældende ved opførelsen, så medmindre et konkret forhold har vist sig at være kritisk for sikkerhed eller holdbarhed, vil man ikke gribe ind overfor eksisterende bygninger; jf (Nielsen & Munch-Andersen, 2007).

På en række forhold som minimumsarmering, armeringsdæklag etc stiller nutidens normer flere og mere præcise krav end datidens normer, men det der har været rejst tvivl om er hovedsageligt styrken af betonen i hovedkonstruktionen.

I det følgende betragtes derfor en 40 m høj og 9 m bred betonbygning med bærende tværvægge, terrænklasse II, høj sikkerhedsklasse, skærpet kontrol og egenlast totalt 150 kN/m^2 ; detaljer er givet i (Munch-Andersen og Nielsen, 2007). Det påvises, at normerne, der var gældende ved opførelsen (Dansk Standard, 1945 og 1949), reelt stiller større krav til bæreevnen af bygninger svarende til højhusene i Rødovre, end nutidens normer (Dansk Standard, 1998, 1999 og 2006).

Laster

En sammenligning mellem normlaster og lastkombinationer for de dagældende normer og de nugældende, konkluderer at lasterne stort set er uændrede. Lastvirkningen hidrørende fra vind er således kun steget ca. 10% selv om det har været hævdet, at den var øget væsentligt mere i perioden.

Den beregnede lastvirkning på væggene i nederste etage er større efter dagens normer end efter datidens. Det skyldes stort set kun, at en del af sikkerheden i dag sikres ved at vindlasten påføres en sikkerhedsfaktor (partialkoefficient) på 1,5, og at nyttelasten nu indgår i den kritiske lastkombination. Dengang var hele sikkerheden placeret på styrken, se nedenfor. Resultatet er, at lastvirkningen på væggene i nederste etage under en storm regneteknisk er øget med faktoren 1,26 i de nugældende normer i forhold til de dagældende normer.

Styrke

Forskellen i bæreevne af væggene dengang og nu afhænger primært af, hvorledes betontrykstyrken fastsættes.

Styrken fastsættes på ret forskellig måde i de to normsæt. I de dagældende normer bestemte man for armeret beton en "tilladelig spænding" for tryk som 25-26% af middelværdien af styrken bestemt ved datidens terningforsøg. Det svarer til 31-32% af dagens cylinderstyrke.

I dag bestemmer man en regningsmæssig styrke på et statistisk grundlag, hvor der blandt andet tages hensyn til variationskoefficienten. Det må forventes, at datidens udførelsesmetoder gav anledning til større usikkerhed på betonstyrken end tilfældet er i dag. I dag sættes variationskoefficienten til 15%. Hvis man antager at den dengang var 20% og korrigerer for forskellige prøvningsmetoder, findes at den regningsmæssige styrke i høj sikkerhedsklasse af datidens beton bestemt efter dagens regler er 46% af cylinderstyrken.

Resultatet er at den beregnede bæreevne for en væg af en given beton er øget med en faktor $0,46/0,32 = 1,44$.

Sammenligning

En bygning er sikkerhedsmæssigt tilfredsstillende, når den beregnede bæreevne er større end den beregnede lastvirkning.

Hele sikkerheden lå dengang på styrken, så faktoren 1,44 kan opfattes som det der er tilovers til partialkoefficient på lasten efter dagens regler. Partialkoefficienten er i dag 1,0 på egenlast og 1,5 på de fleste andre laster. For de pågældende bygninger er egenlasten dominerende, så den gennemsnitlige partialkoefficient på lasten bliver kun ca 1,15. Det forklarer hovedparten af den ovennævnte forøgelse af lastvirkningen med faktoren 1,26.

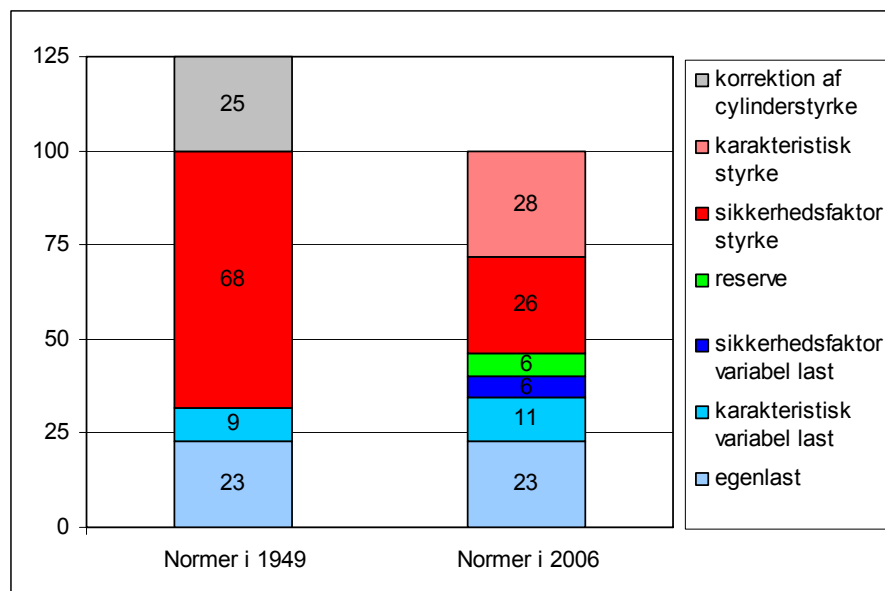
Når bygningerne beregnes med de nugældende normer er der således en bæreevnereserve på knap 15% ($1,44 / 1,26 = 1,14$).

For uarmeret beton, som er anvendt i de øvre etager, er reserven væsentlig større, fordi partialkoefficienten på uarmeret beton i forhold til værdis-

en for armeret beton er blevet væsentligt reduceret fra 1949 til 2006. Bæreevnereserven er omkring 100%.

Side 5 af 7

Sammenligningen af 1949-normer og 2006-normer er resumeret i figur 6.



Figur 6. Normsammenligning Hvis et højhus opført efter 1949-normen netop udnytter den tilladte spænding fuldt ud vil egenlasten udgøre 23% af middelcylinderstyrken f_c . Under normmæssig storm øges spændingen med 9% til 32% af middelstyrken. De resterende 68% skal dække usikkerhed på styrken, beregningsmodeller og laster. Terningstyrken σ_T er 25% større end f_c . Hvis bygningen vurderes efter dagens normer vil egenlasten uændret udgøre 23% af f_c , mens den karakteristiske værdi af de variable laster (vind+nytte) er øget fra 9 til 11%, blandt andet fordi nyttelasten nu indgår i den afgørende lastkombination. Partialkoefficienten på den variable last udgør 6%. Hvis variationskoefficienten på betonstyrken er 20% medgår der 28+26 = 54% for at komme fra middelværdi til regningsmæssig styrke. Til rest bliver en bæreevnereserve på 6% af f_c .

Projektmateriale og kontrol af beregningsmodeller

En gennemgang af projektmaterialet fra 1953 viser at hovedkonstruktionernes bæreevne er veldokumenteret, og det vurderes at den anvendte model for bestemmelse af lastvirkningerne er hensigtsmæssig og tilstrækkelig præcis. Projektmaterialets omfang og kvalitet vurderes overordnet set tilfredsstillende for et byggeri af den aktuelle karakter.

Beregning af lastvirkningerne er kontrolleret med et dedikeret IT-værktøj (SHEWALL), der blandt andet bedre kan tage hensyn til dørhuller. Resultaterne er sammenlignet med manuelle beregninger af hovedkræfterne svarende til de oprindelige beregningsprincipper. Det mest kritiske forhold er stivheden af dørøverliggerne. Er den effektive højde af dørøverliggeren blot 400 mm høj øges lastvirkningen kun 5% i de hårdest belastede vægge, se (Feilberg Hansen, 2007).

Bemærkninger til hovedkonstruktionen

Såfremt der er begrundet mistanke om at andre forhold i højhusenes hovedkonstruktion kan være kritiske for sikkerheden bør man naturligvis - som ved alle andre konstruktioner - undersøge forholdet nærmere. I grundlaget for

evakueringsplanerne findes dog ingen indikationer på, at højhusenes hovedkonstruktioner afviger væsentligt fra det projekterede.

Side 6 af 7

Det bemærkes, at hovedkonstruktionen i sin helhed står beskyttet mod vejrligets påvirkninger. Observationer om nedbrydning af betonen i de ydre betonkonstruktioner som f.eks. altangange, konsoller og brystninger kan derfor ikke overføres til hovedkonstruktionen, eftersom de har været udsat for helt andre påvirkninger i husenes levetid.

Desuden vil konstruktionen med sin monolitiske karakter have en vis evne til at omfordele laster, blandt andet gennem plasticitet i armerede vægge.

Evakueringsplan

Det blev besluttet at evakuere beboerne af højhusene på grundlag af varsel af ekstrem vind som beskrevet i (Hansen, 2005).

Baggrunden for beslutningen om at bygningerne skal evakueres i tilfælde af udsigt til kraftigt stormvejr var primært, at styrken af de udborede betonkerner var vurderet at være langt mindre end forudsat ved projekteringen. Som det fremgår af afsnittet om betonstyrke ovenfor, er det ikke tilfældet.

Da bygningernes hovedkonstruktion samtidig i hovedtræk opfylder dagens krævede sikkerhedsniveau, er der ikke grundlag for at opretholde særlige evakueringsplaner.

Referencer

Dansk Standard (1945): *Dansk Ingeniørforenings normer for bygningskonstruktioner. 1 Belastningsforskrifter*. DS410, 1945.

Dansk Standard (1949): *Dansk Ingeniørforenings normer for bygningskonstruktioner. 2 Beton- og jernbetonkonstruktioner*. DS411, 1949.

Dansk Standard (1998): *Norm for last på konstruktioner*. DS 410:1998 inkl. DS 410/Till.1:2006.

Dansk Standard (1999): *Norm for betonkonstruktioner*. DS 411:1999 inkl. DS 411/Till.1:2004, DS 411/Till.2:2005 og DS 411/Till.3:2006.

Dansk Standard (2006): *Norm for projektering af konstruktioner*. DS 409:2006.

Feilberg Hansen, K. (2007): *Beregning af 15. etagers højhus*, SBI, 21. jan 2007 (ej publiceret).

Hansen, S.O. (2005): *Varsling af ekstrem vind ved højhuse i Rødovre*. Svend Ole Hansen Aps., 2005.

Milthers, G. (1956): *Utraditionelle højhuse i Rødovre*. Arkitekten, Vol.42, 1956, p.333-339.

Munch-Andersen, J. & Nielsen, J. (2007): *Sammenligning af normer for betonkonstruktioner 1949 og 2006*. SBI, 21. jan 2007.

Nielsen, J. & Munch-Andersen, J. (2007): *Sikkerheden i eksisterende byggeri - betonstyrken i højhuse fra 1950'erne*, SBI, 21. jan. 2007.

Nielsen, K. (2001): *Notat vedrørende betonstyrker, stabilitet m.v.*. Klaus Nielsen Rådgivende Ingeniørfirma, 10. jan. 2001.

Nielsen, K. (udateret): *Beregning af gennemsnitlig betonstyrke, spredning, σ_T , σ_B , og r_b* . Klaus Nielsen Rådgivende Ingeniørfirma.